

核电厂凝汽器在役氦检漏技术

杨 焰, 谢圣华, 钱征宇

(国核电站运行服务技术公司, 上海 200233)

摘要:凝汽器是核电厂汽轮机组的重要设备, 在电厂凝汽式汽轮机组的热力循环中起着冷源的作用, 其传热管在运行的过程中可能发生破管, 从而引起二回路水质恶化。介绍了针对核电厂常规岛凝汽器破管的氦气泄漏检测方法。通过对在役凝汽器氦气泄漏检测方法的研究, 掌握传热管破管的判断方法。现场检测结果表明, 开发的检验技术应用效果良好, 在保证核电厂安全、经济运行上起到了重要的作用。

关键词:凝汽器; 泄漏; 氦检漏

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2011)04-0066-03

Helium Leak Examination Technology on In-Service Condenser in Nuclear Power Plant

YANG Jiong, XIE Sheng-Hua, QIAN Zheng-Yu

(State Nuclear Power Plant Service Company, Shanghai 200233, China)

Abstract: Condenser is the very important equipment in the steamship unit of the nuclear power plant and it plays a cooling effect on the heat circulation in the condensable steamship unit of the nuclear power plant. Pipe rupture in the process of operation might occur in its heat transfer canal and it will lead to the deterioration of water quality in the Second Circuit. This article introduced the helium leak examination method against the pipe rupture in the condenser in the steamship unit of the nuclear power plant, grasping the judgment method whether the pipe rupture occurs in heat transfer canal by researching the helium leak examination method on the in-service condenser. The on-site examination results indicated the developed examination technology apply well, it played an important effect on assuring the safety and economic operation of the nuclear power plant.

Keywords: Condenser; Leak; Helium leak examination

1 冷凝器简介

凝汽器又称冷凝器, 是汽轮机组的一个重要设备, 在电厂凝汽式汽轮机组的热力循环中起着冷源的作用, 其主要功能是: ① 与抽汽系统一起为汽轮机建立和维持真空。② 把在低压缸内做完功的蒸汽冷凝成水。③ 接收各疏水箱来的疏水和不凝结气体, 回收和贮存洁净的凝结水, 对凝结水进行初步除氧后, 为动力循环提供给水。凝汽器的工作原理见图1所示。从热交换角度看, 凝汽器是表面式热交换器的一种。在汽轮机内做过功的蒸汽进入凝汽器, 蒸汽在凝汽器管束外表面凝结成水, 放出汽化潜热; 而管束内的冷却水在管内流动, 把汽化潜热带走。由于进入凝汽器的蒸汽是汽水两相共存的湿饱和蒸汽, 该蒸汽在凝汽器内凝结时, 体积突然缩小, 在凝汽器内形成真空。建立和维持凝汽器真空是一个动态过程: 蒸汽源源不断地从汽轮机排汽进入凝汽器, 而冷却水连续不断地从凝汽器管束内流过, 把蒸汽凝结时放出的汽化潜热带走, 同时蒸汽凝结成的凝结水不断地从热井中由凝结水泵抽出, 作为热力循环给水(经低压加热器、除氧器、高压加热器最终到蒸汽发生器)。

器, 蒸汽在凝汽器管束外表面凝结成水, 放出汽化潜热; 而管束内的冷却水在管内流动, 把汽化潜热带走。由于进入凝汽器的蒸汽是汽水两相共存的湿饱和蒸汽, 该蒸汽在凝汽器内凝结时, 体积突然缩小, 在凝汽器内形成真空。建立和维持凝汽器真空是一个动态过程: 蒸汽源源不断地从汽轮机排汽进入凝汽器, 而冷却水连续不断地从凝汽器管束内流过, 把蒸汽凝结时放出的汽化潜热带走, 同时蒸汽凝结成的凝结水不断地从热井中由凝结水泵抽出, 作为热力循环给水(经低压加热器、除氧器、高压加热器最终到蒸汽发生器)。

2 凝汽器泄漏的危害

核电站二回路的水质要求很高, 其中钠含量要

收稿日期: 2010-06-23

作者简介: 杨 焰(1960—), 男, 高工, 工程部副主任, 主要从事核电站设备及系统的检漏工艺及方法研究。

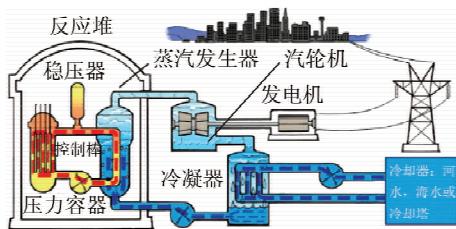


图 1 冷凝器工作原理示意图

求 $\leq 1 \mu\text{g/L}$ 。由于凝汽器换热管的材质为钛管,壁厚一般为 0.5 mm 左右,流经传热管的海水中的杂质容易对传热管造成物理损伤,严重的会引起传热管破管。一旦发生破管,在压差作用下会造成海水向凝汽器汽侧泄漏,从而会使凝结水中氯离子、钠离子超标,引起二回路系统设备管线的腐蚀,缩短二回路系统设备的使用寿命。

3 凝汽器氦质谱技术检漏原理

在可疑区域(检测工作面)注入检测用示踪气体氦气。氦气在凝汽器真空负压的作用下经漏点迅速进入真空系统,随真空系统的不凝结气体经真空泵排向大气。利用高精度的氦质谱检漏仪在真空泵出口取样分析,检测出氦气的含量,从而判断被测区域是否存在漏点及漏点大小,确定冷凝器泄漏管束所处的位置,以便堵漏。

4 凝汽器氦质谱技术检漏方法

4.1 参考点灵敏度校验

在低压缸已建立良好的真空度后或机组运行时,隔离被检测的凝汽器,凝汽器水室疏水至传热管最低平面以下。在低压缸至低加的抽汽管道上靠近凝汽器的阀门接入氦气管,注入氦气。阀门开度应尽可能小,以手掌放在管口处感觉有氦气进入冷凝器即可,以免干扰机组运行。利用凝汽器的真空,质谱仪旁的测量记录人员记录放氦气的时间,并观察质谱仪。当质谱仪氦含量读数达到峰值时,记录读数及时间。实际应用中,从投放氦气一刻起到氦质谱仪探测出氦气所需的时间即为反应时间。参考点灵敏度校验的系统连接方法详见图 2 所示。

4.2 凝汽器整体氦检漏

凝汽器整体氦检漏的系统连接方法如图 3 所示。在凝汽器水室压力表下堵头接充气接头,通过充气接头向管侧充氦气至 0.02 MPa(表压),保压 20 min,保压时间为响应时间的 2~3 倍,以确保渗漏氦气到达取样点。如有泄漏,由于凝汽器壳侧真

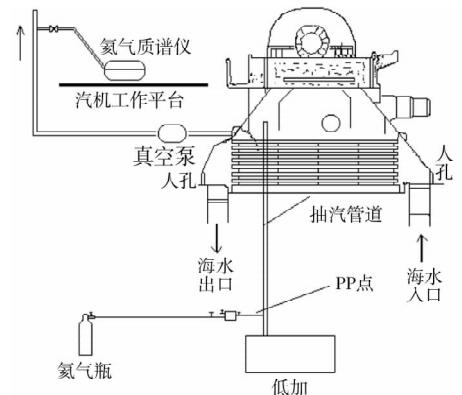


图 2 参考点灵敏度校验的系统连接示意图

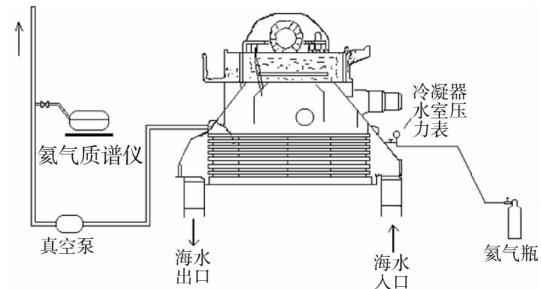


图 3 凝汽器整体氦检漏系统连接方法示意图

空,氦气由管侧进入壳侧,氦质谱仪在抽真空系统的取样点则可测出泄漏的氦气。

4.3 凝汽器单管氦检漏

凝汽器整体氦检漏发现传热管有泄漏时,需对凝汽器做单管氦检漏来确定漏管位置,进而堵漏。凝汽器单管氦检漏的系统连接方法如图 4 所示。

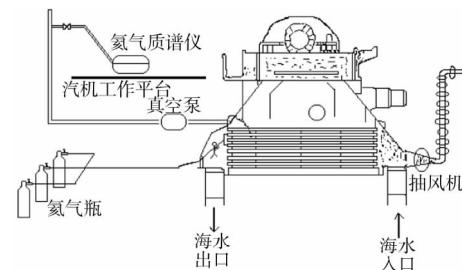


图 4 凝汽器单管氦检漏的系统连接示意图

将冷凝器管板按垂直轴线 A-B 分成两部分,见图 5,使用放样装置从上至下沿两部分分步扫描。适当控制氦气流量,如果流量太小,则需要加大连接软管尺寸,每步移动长约为 250~300 mm,每步停留时间约为事先测得系统反应时间的 1.5~2 倍。每移一步,用记号笔做好标记,多步之间应至少有一排管孔的重叠,以免产生盲区。

将泄漏区域 acdf 分成两个子区 abef 和 bcde,

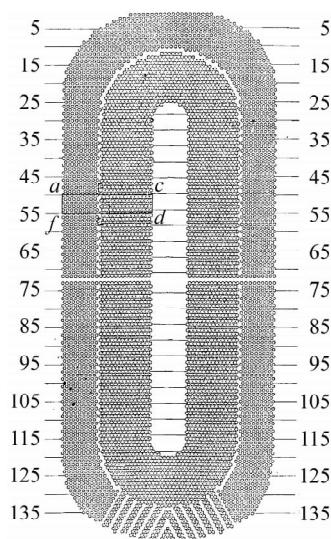


图 5 凝汽器管板布置图

用和上述同样的方法分别使用放样装置进行查漏。可以确定出泄漏子区。如果泄漏管在子区 *bcde* 内, 则该子区还可进一步分成两小子区, 以便减轻下一步工作量。

使用梳状探漏装置对泄漏子区内的管排逐排放样, 同样可以定出泄漏管排。如子区 *abef* 中的第一和第三排管束, 探测泄漏管子使用单通道放样管, 对泄漏管排中的每一根管子分别进行放样探测, 便可确定泄漏管子所处的具体位置。用同样的方法可以确定整个管板上泄漏区域内泄漏管子的具体位置。所有泄漏钛管的两端封堵后, 应做整体再鉴定, 即冷凝器整体充氦气检漏, 以鉴定封堵是否有效。

5 实际检测案例

2005 年 12 月, 泰山某核电厂经化学取样发现 1

~~~~~

(上接第 65 页)

## 3 结语

提出了探伤工艺编制、射线辐射防护、设备材料及人员管理的一体化解决方案。一方面可以满足各种探伤设备、胶片及透照方式下的工件射线探伤工艺的编制需求, 同时本系统可存储射线防护知识和本单位从事无损检测人员的资质及相关人事信息, 以供查询和检索。另一方面, 本系统采用模块式设计, 各功能模块相互独立, 模块的调用采用菜单事件

号机组凝结水钠离子浓度超标, 于是委托国核电站运行服务技术公司对 1 号机组凝汽器传热管检漏。国核电站运行服务技术公司于 2005 年 12 月 11 日至 12 月 13 日按照以上方法完成了对四台凝汽器的整体氦检漏工作。氦检漏结果为: 凝汽器 1A 存在泄漏, 氦气漏率为  $2 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ , 经初步估算, 此漏率相当于速率为 10 mL/h 左右的海水泄漏流量。1B, 2A, 2B 均未发现泄漏现象。这于之前的凝结水在线检测结果: 冷凝器 1A 出口钠离子浓度为 0.19 PPa, 1B 出口钠离子浓度为 0.15 PPa, 2A 出口钠离子浓度为 0.15 PPa, 2B 出口钠离子浓度为 0.12 PPa, 凝结水泵入口钠离子浓度为 0.18 PPa 完全吻合。随后工作组又对凝汽器 1A 进行了单管检漏, 最终发现了漏管, 并进行了堵管。

## 6 结论

(1) 凝汽器氦质谱检漏方法检测灵敏度高, 能检测出小于 0.006 cm/s 的冷却水泄漏量。

(2) 凝汽器氦质谱检漏方法操作简单, 对漏管定位准确。

(3) 凝汽器氦质谱检漏方法速度快, 机组可以在 95% 的功率下继续运行, 是电厂应急查漏较为理想的检查方法。

## 参考文献:

- [1] 曹辉玲. 检漏工程中的新型检漏方法——负压采样法 [J]. 电子真空技术, 2003(3): 84.
- [2] 《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会. 泄漏检测 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

驱动, 便于以后系统维护、更新和升级。该系统非常适合无损检测质量管理人员使用。

## 参考文献:

- [1] 强天鹏. 全国特种设备无损检测人员资格考核统编教材——射线检测 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007.
- [2] 伍建辉. Excel VBA 办公应用开发评解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] JB/T 4730. 2—2005 承压设备无损检测 [S].